УДК 331.4 https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-3-13-22

Основные аспекты оценки виброакустических факторов

Н. Х. Абдрахманов[1], **А. В. Федосов**[1], **А. Н. Хамитова**[1], **И. И. Бадртдинова**[1], **Г. Л. Матузов**[2]
[1]Уфимский государственный нефтяной технический университет (г. Уфа, Российская Федерация)
[2]Башкирский государственный медицинский университет (г. Уфа, Российская Федерация)

Введение. В век автоматизации и механизации труда шум и вибрация стали главными опасными и вредными производственными факторами (ОВПФ) в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Для того чтобы снизить вредное воздействие виброакустических факторов на организм человека, необходимо прежде всего провести оценку данного фактора. В статье приводится общая информация по оценке условий труда при воздействии виброакустических факторов.
Постановка задачи. Задачей данной работы является исследование основных аспектов при оценке виброакустических факторов.
Теоретическая часть. В качестве базовой информации даны определения шума и вибрации, представлены их основные характеристики, классификация, гигиеническое нормирование, проанализировано негативное влияние этих факторов на здоровье человека, названы способы их оценки и меры защиты от них.
Выводы. Изучение основных аспектов оценки виброакустических факторов позволяет проанализировать ОВПФ и в дальнейшем разработать мероприятия по снижению негативного воздействия данного фактора на организм человека.

Ключевые слова: шум, вибрация, опасные и вредные производственные факторы, гигиеническая оценка.

Для цитирования: Основные аспекты оценки виброакустических факторов / Н. Х. Абдрахманов, А. В. Федосов, А. Н. Хамитова [и др.] // Безопасность техногенных и природных систем. — 2021. — № 3. — С. 13–22. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-3-13-22

Main aspects of vibroacoustic factors assessment

N. Kh. Abdrakhmanov[1], **A.V. Fedosov**[1], **A. N. Khamitova**[1], **I. I. Badrtdinova**[1], **G. L. Matuzov**[2],
[1]Ufa State Petroleum Technical University (Ufa, Russian Federation)
[2]Bashkir State Medical University (Ufa, Russian Federation)

Introduction. In the age of automation and mechanization of labor, noise and vibration have become the leading dangerous and harmful production factors (DHPF) in various industries and agriculture. In order to reduce the harmful effects of vibroacoustic factors on the human body, first of all, it is necessary to evaluate this factor. The article provides general information on the assessment of working conditions under the influence of vibroacoustic factors.
Problem Statement. The aim of this work is to study the main aspects in the assessment of vibroacoustic factors.
Theoretical Part. As basic information, the paper provides the definitions of noise and vibration, their main characteristics, classification, hygienic regulation, the negative impact of these factors on human health, methods of assessment and measures of protection against them.
Conclusion. The study of the main aspects of the assessment of vibroacoustic factors allows us to analyze the DHPF and further develop measures to reduce the negative impact of these factors on the human body.

Keywords: noise, vibration, dangerous and harmful production factors, hygienic assessment.

For citation: N. Kh. Abdrakhmanov, A. V. Fedosov, A. N. Khamitova, I. I. Badrtdinova. Main aspects of vibroacoustic factors assessment. Safety of Technogenic and Natural Systems. 2021;3:13–22. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-3-13-22

Введение. Среди огромного множества опасных и вредных производственных факторов, оказывающих негативное влияние на здоровье человека, встречаются такие, с которыми он сталкивается постоянно: на работе, на производственных площадках, в транспорте и в быту.

К подобным факторам можно отнести виброакустические, содержащие в себе вибрацию, шум, инфразвук и ультразвук (рис. 1). Виброакустические факторы считаются одними из наиболее распространенных вредных и опасных производственных факторов и занимают лидирующее место среди причин возникновения профессиональных заболеваний. Их называют «серой чумой» XX и XXI веков. Следует отметить, что эти факторы можно смело назвать родственниками, все они имеют колебательную природу происхождения.

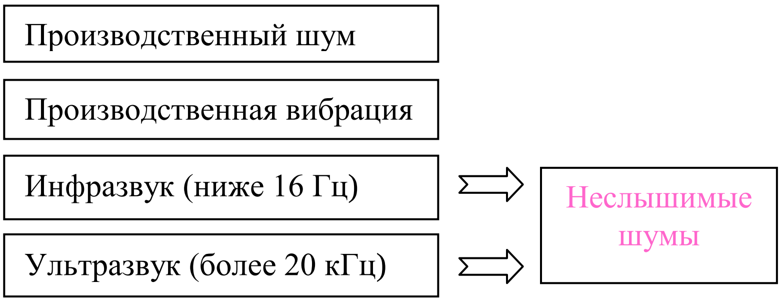


Рис. 1. Виброакустические факторы

Постановка задачи. Задачей данной работы является исследование основных аспектов оценки рабочих мест по виброакустическим факторам.

Теоретическая часть. *Физические основы оценки уровней шума.* С физической точки зрения шумом называют хаотичное комбинирование звуков с разной интенсивностью и частотой, которое оказывает неблагоприятное воздействие на человека. В свою очередь, звуком называют колебательное движение частиц упругой среды, которое циркулирует в виде волн в твердой, жидкой и газообразной средах. Также шум можно определить как ощущение, воспринимаемое органами слуха во время действия на них звуковых волн в диапазоне частот 16–20 000 Гц.

Гигиеническое нормирование и классификация шума. Как и у любого другого вредного производственного фактора, у шума есть набор показателей, по которым проводят его оценку. К основным таким показателям относят:

— частоту колебаний (число колебаний, производимых в единицу времени);

— интенсивность звука (величина, равная количеству энергии, перемещаемой звуковой волной через единицу площади среды в единицу времени);

— звуковое давление — разность между давлением в возмущенной среде и средним значением атмосферного давления (рис. 2) [1].

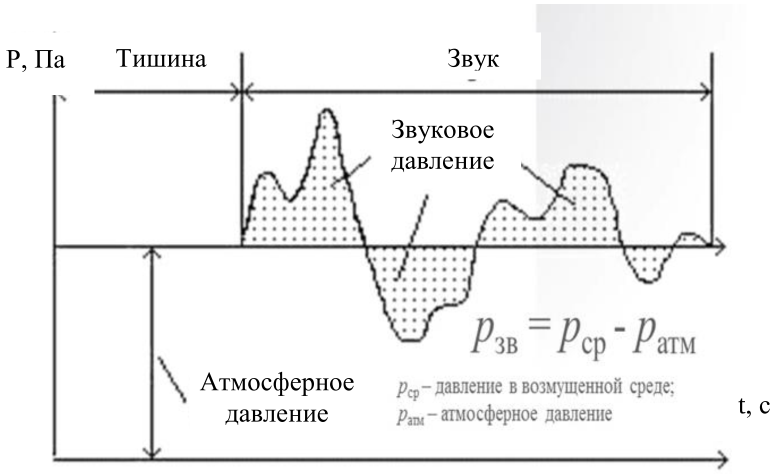


Рис. 2. Звуковое давление

Интенсивность звука *(I, Вт/м²)* определяется по формуле

$$I = \frac{p^2}{\rho \times c} \qquad (1)$$

где p – звуковое давление, Па;

ρ – плотность среды, кг/м³;

с – скорость звука, м/с.

Между порогом слышимости и болевым порогом находится область слухового восприятия, которая включает в себя 14 порядков (рис. 3). Однако при помощи абсолютных значений этих показателей нельзя сделать вывод об условии труда в промежутке 8-часовой рабочей смены, поэтому применяется логарифмическая шкала (всю область физических характеристик звуковых давлений и интенсивностей записывают не многозначными числами абсолютных значений, а логарифмами отношений этих величин к значениям, равным порогу слышимости).

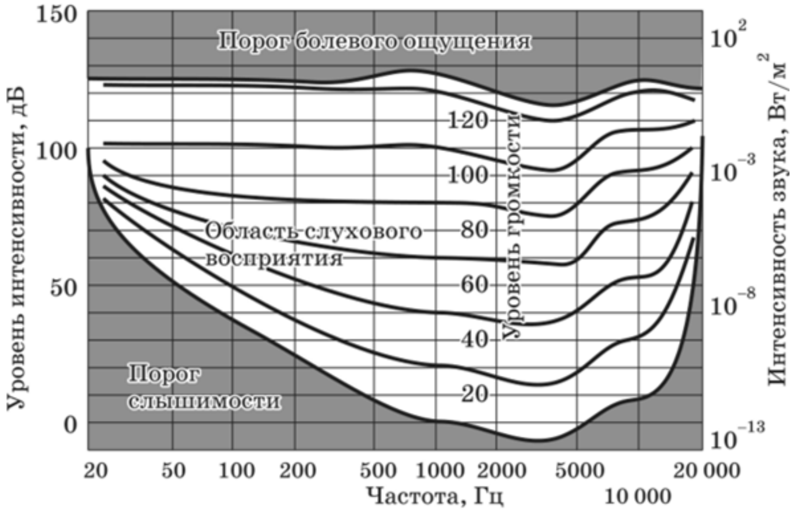


Рис. 3. Диаграмма слышимости для уха человека

В процессе гигиенической оценки условий труда весь интервал частот делят на полосы определенной ширины (спектры).

Октава — спектр частот, у которых отношение верхней частоты к нижней равно двум. Треть октавы — полосы определенной ширины частот, у которых отношение верхней частоты к нижней равно кубическому корню из двух [2].

Существует большое количество классификационных признаков, по которым различают шумы (табл. 1).

Таблица 1

Классификация шума

<table>
<tr><th>По источнику возникновения</th><th>По частоте</th><th>По спектру</th><th colspan="3">По времени</th><th>По цвету</th></tr>
<tr><td>Механический</td><td>Низкочастотный – до 300 Гц</td><td>Широкополосный</td><td colspan="3">Постоянный</td><td>Белый</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Аэро-, гидродинамический</td><td rowspan="2">Среднечастотный – от 300 до 800 Гц</td><td rowspan="3">Тональный</td><td colspan="3">Непостоянный</td><td>Серый</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Колеблющийся</td><td rowspan="2">Прерывистый</td><td rowspan="2">Импульсный</td><td>Розовый</td></tr>
<tr><td>Электродинамический</td><td>Высокочастотный – более 800 Гц</td><td>Другие</td></tr>
</table>

Однако наиболее весомое значение при оценивании условий труда придается классификации по временному признаку, в котором шум можно разделить на постоянный (уровень звука изменяется не более чем на 5 дБА) и непостоянный (уровень звука изменяется более чем на 5 дБА).

Нормируемым параметром постоянного шума является уровень звукового давления, он измеряется 9 октавными полосами с соответствующими среднегеометрическими частотами. Эквивалентный (по энергии) уровень звука — нормируемый параметр непостоянного шума (рис. 4) [3].

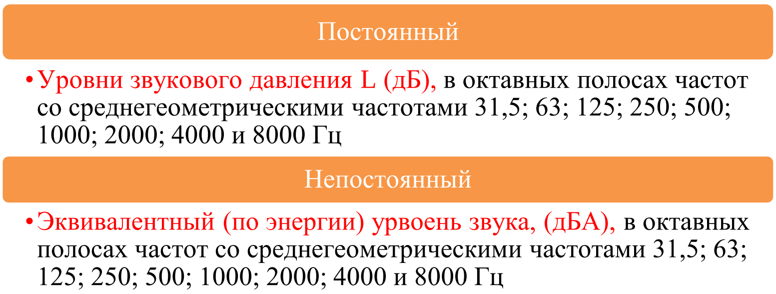


Рис. 4. Нормирование шума

Можно отметить, что для двух процедур в области оценки условий труда, т. е. для производственного контроля и специальной оценки условий труда (СОУТ) подходы к нормированию уровней шума отличаются. Так, для специальной оценки принят единый норматив — 80 дБА, а для производственного контроля существует возможность выбора (рис. 5).

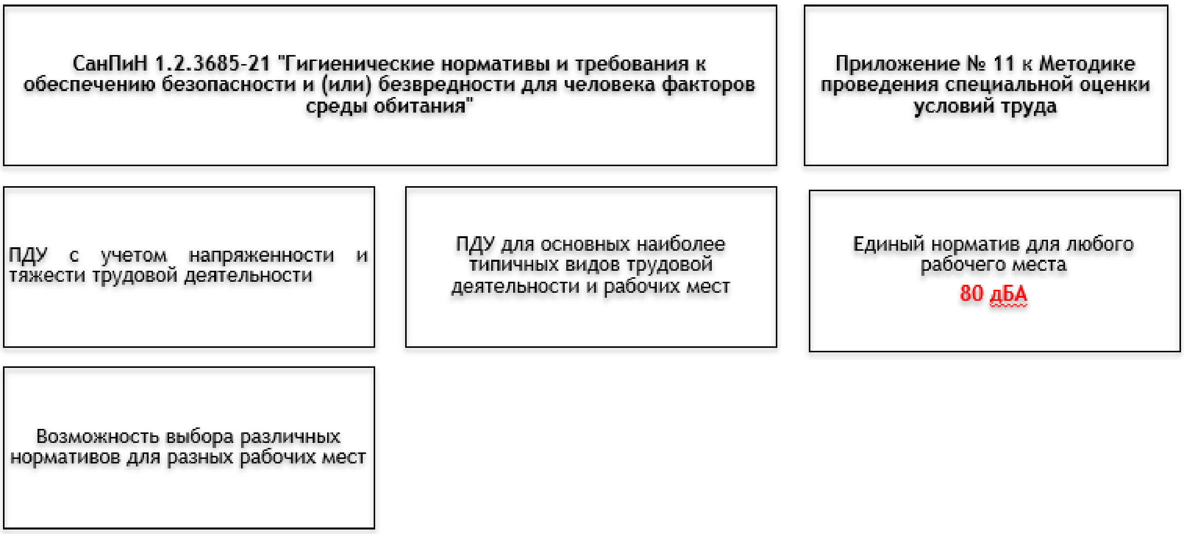


Рис. 5. Сравнительный анализ нормирования в рамках СОУТ и гигиенического нормирования

Кроме того, нормирование шума зависит от напряженности и тяжести трудового процесса (рис. 6).

Категории напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	Легкая физическая нагрузка	Средняя физическая нагрузка	Тяжелый труд		
			1-й степени	2-й степени	3-й степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1-й степени	60	60			
Напряженный труд 2-й степени	50	50			

Рис. 6. Нормирование шума в зависимости от тяжести и напряженности труда

Возможной причиной отличий нормирования уровней шума в рамках производственного контроля и специальной оценки условий труда, по мнению авторов, является государственная политика в области оценки условий труда, направленная на сокращение рабочих мест с вредными условиями труда.

Воздействие шума на организм. Шум негативно влияет на весь организм человека, но в большей степени на слуховой аппарат и центральную нервную систему. Действие шума характеризуется накапливающимся эффектом, что приводит к возникновению профессионального заболевания — нейросенсорной тугоухости (рис. 7) [4].



Рис. 7. Воздействие шума на слуховой аппарат человека

Защита от шума. Средства индивидуальной защиты органов слуха включают в себя наушники, противошумные шлемы, беруши. Коллективные меры защиты от шума подразделяются на два вида:

— средства, уменьшающие шум в источнике возникновения (изменения в конструкции оборудования, использование технологических процессов и оборудования, не издающих сильного шума);

— средства, уменьшающие шум на пути распространения (звукоизоляция).

Применяя звукопоглощение, можно снизить шум всего лишь на 5–10 дБ, а с помощью звукоизоляции — на 30–70 дБ.

Средства измерения. Шум на рабочем месте измеряется с помощью шумомеров или дозиметров шума. Наиболее применяемые модели шумомеров — SVANи ОКТАВА (рис. 8) [5].



Рис. 8. Шумомеры

Физические основы оценки уровней вибрации. Вибрация — колебательный процесс в механических системах, при которых материальное тело спустя некоторый промежуток времени приходит в одно и то же устойчивое положение. Причинами возбуждения вибрации являются неуравновешенные силовые воздействия (возвратно-поступательные, вращающиеся, удары деталей).

Гигиеническое нормирование и классификация вибрации. Как и у любого другого вредного производственного фактора, у вибрации есть набор показателей, по которым проводят её оценку. К основным таким показателям относят амплитуду виброперемещения, частоту колебаний, механический импеданс, виброскорость и виброускорение.

По аналогии с шумом для оценки условий труда по вибрации применяется логарифмическая шкала (весь диапазон виброскоростей и виброускорений записывают не многозначными числами их абсолютных значений, а логарифмами отношений этих величин к соответствующим пороговым значениям) [6].

Уровень виброскорости *(L_v, дБ)* вычисляется по формуле

$$L_V = 10lg \times \left(\frac{V^2}{V_0^2}\right) = 20lg \times \left(\frac{V}{V_0}\right), \quad (2)$$

где V – значение виброскорости, м/с;

$V_0=5\cdot10^{-8}$ м/с – пороговое значение скорости.

Уровень виброускорения *(L_a, дБ)* вычисляется по формуле

$$L_a = 20lg \times \left(\frac{a}{a_0}\right), \quad (3)$$

где a – значение ускорения, м/с^2;

$a_0=1*10^{-6}$м/с^2 – пороговое значение ускорения.

Существует огромное количество классификационных признаков, по которым различают вибрации: по источнику, по направлению действия, по типу источника, по времени, по способу воздействия на человека (рис. 9).

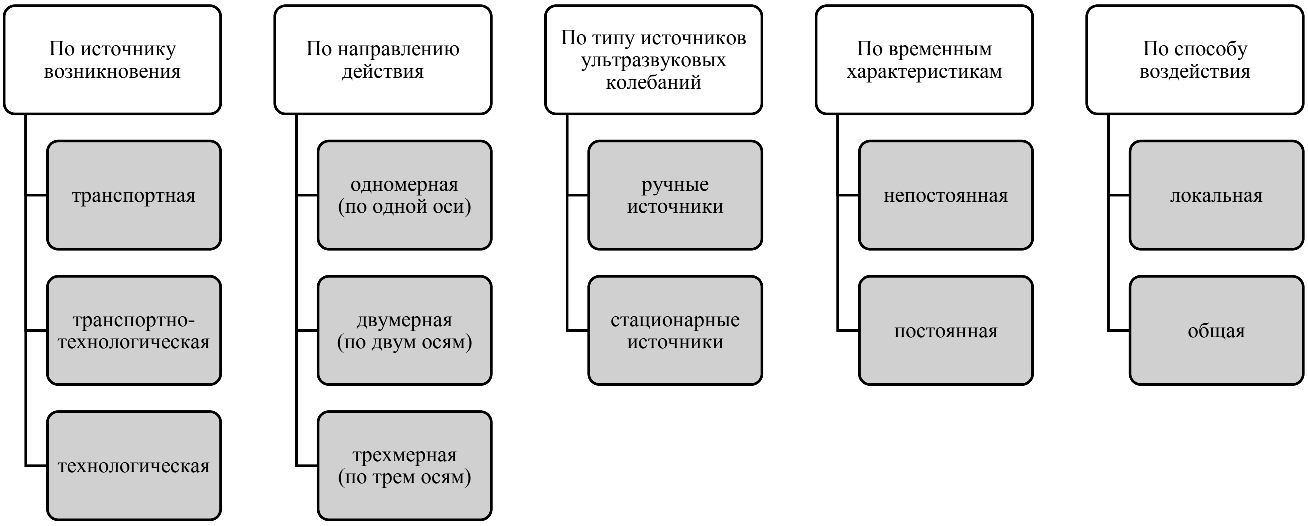


Рис. 9. Классификация вибрации

Но наибольшее значение для оценки условий труда имеет временной признак, согласно которому вибрация подразделяется на постоянную и непостоянную. В свою очередь непостоянная вибрация делится на прерывистую, колеблющуюся и импульсную [7].

Следует также добавить, что вибрация по способу воздействия на человека классифицируется как общая и локальная (рис. 10). В связи с тем, что локальная вибрация обладает более широким частотным диапазоном, она считается более вредной, чем общая.

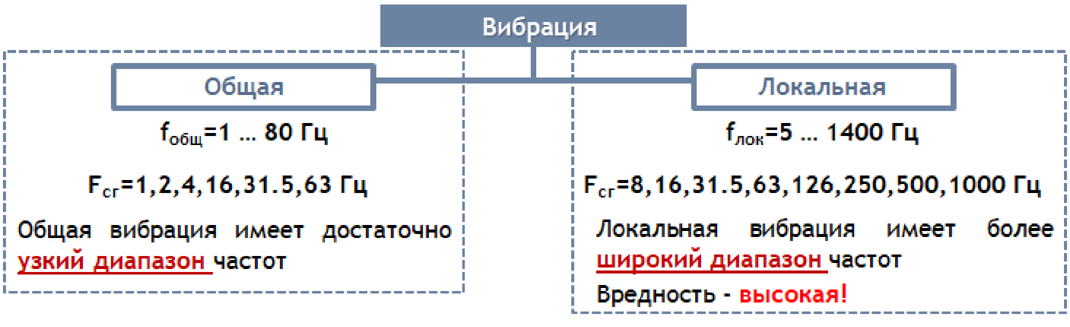


Рис. 10. Частотные характеристики вибрации

В зависимости от вида вибрации (общая или локальная, постоянная или непостоянная) происходит ее нормирование. Нормируемый параметр постоянной вибрации — корректированный уровень виброускорения, а непостоянной — эквивалентный корректированный уровень виброускорения.

Следует отметить, что для двух процедур в области оценки условий труда, то есть для производственного контроля и специальной оценки условий труда, подходы к нормированию вибрации отличаются. Так, для специальной оценки приняты единые нормативы, а для производственного контроля существует возможность выбора в зависимости от источника вибрации (табл. 2).

Таблица 2

Нормирование вибрации в производственном контроле и специальной оценке условий труда

Производственный контроль Руководство 2.2.2006-05	Специальная оценка условий труда
Локальная вибрация Использование весовых коэффициентов для частотных полос, использование ПДУ для частотных полос	Локальная вибрация Использование ПДУ для частотных полос
Общая вибрация Использование весовых коэффициентов для частотных полос Использование ПДУ для нескольких категорий (по источнику возникновения)	Общая вибрация Нет разделения по источнику возникновения Использование ПДУ для выставления КУТ по оси Z и по осям X, Y в дБ

Возможной причиной отличий нормирования вибрации в рамках производственного контроля и специальной оценки условий труда, по мнению авторов, является государственная политика в области оценки условий труда, направленная на сокращение рабочих мест с вредными условиями труда.

Измерения вибрации на рабочем месте выполняют с помощью виброметров. Наиболее применяемые модели виброметров: SVANи ОКТАВА (рис. 11) [8].

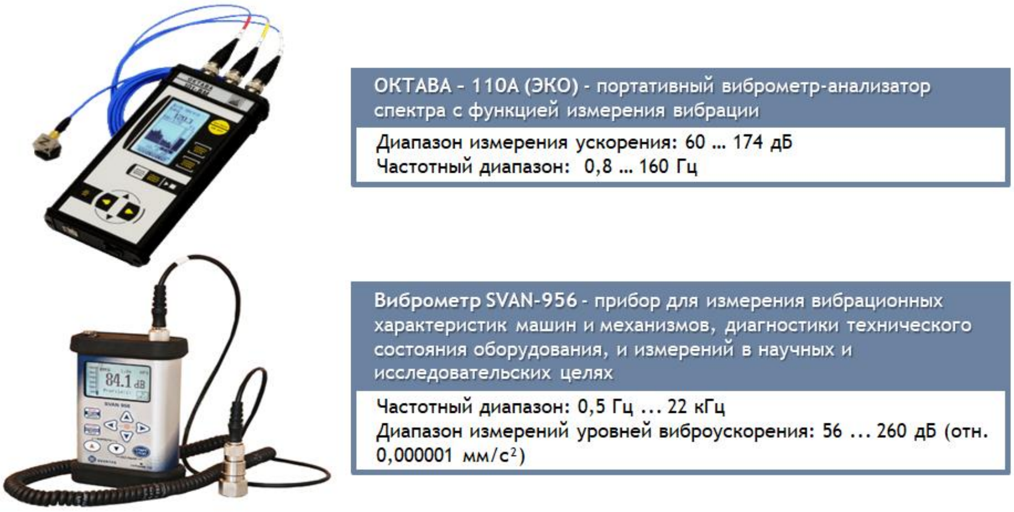


Рис. 11. Измерения параметров вибрации

Воздействие вибрации на организм. Воздействие вибрации на человека значительно сложнее, чем у шума, но она также в большей мере оказывает негативное воздействие на нервную систему.

Профессиональное заболевание, вызываемое воздействием вибрации, называют вибрационной болезнью или «болезнью белых пальцев». Существует три стадии вибрационной болезни.

На первой стадии происходит нарушение кожной чувствительности, появляется боль и слабость в руках. Вторая стадия сопровождается процессами сведения пальцев, изменением цвета кожи. Во время третьей стадии идут необратимые изменения в сердечно-сосудистой и центральной нервной системе, происходит атрофия конечностей (рис. 12) [9].



Рис. 12. Вибрационная болезнь

Наиболее часто возникают заболевания, вызванные локальной вибрацией, она может вызывать замедление кровообращения в кистях рук, пальцах, предплечьях, сосудах сердца. Особенно неблагоприятно воздействует вибрация, передающая колебания от ног к голове.

Средства защиты от вибрации. К средствам защиты от вибрации относят уменьшение вибрации в источнике образования, уменьшение вибрации на пути распространения, организационно-технические и лечебно-профилактические мероприятия, использование средств индивидуальной защиты (виброизолирующая обувь, подметки, специальные стельки, прокладки, вкладыши, специализированные рукавицы и перчатки).

Средства измерения вибрации. Вибрацию можно измерить с помощью виброметров и виброанализаторов.

Виброметр — прибор для измерения виброскорости. Современные виброметры, помимо измерения вибрации, определяют дополнительные параметры. Например, виброметр Fluke 805 измеряет также температуру подшипников (рис. 13).



Рис. 13. Виброметр Fluke

Виброанализатор — более сложный измерительный прибор по сравнению с виброметром (рис. 14). В отличие от виброметра, виброанализатор позволяет отслеживать вибрацию в динамике, то есть с помощью виброметра можно измерить вибрацию в конкретный момент времени, а с помощью анализатора можно оценить изменение этого параметра [10].



Рис. 14. Виброанализатор

Существует множество профессий, для которых характерно превышение гигиенических нормативов по виброакустическим факторам. Примером такой профессии может служить машинист компрессорной установки, у которого уровень шума может достигать 100 децибел при норме в восемьдесят. Соответственно, класс условий труда на таком рабочем месте будет 3.1 и выше, что определяет необходимость разработки мероприятий по улучшению условий труда.

Выводы. Авторами статьи проведено исследование основных аспектов оценки виброакустических факторов. Данная оценка позволяет проанализировать опасные и вредные производственные факторы и в дальнейшем разработать мероприятия по снижению их негативного воздействия на организм человека.

Библиографический список

1. Деловая игра как форма эффективного изучения вопросов охраны труда / Н. Х. Абдрахманов, А. В. Федосов, И. Р. Даниева [и др.] // Безопасность техногенных и природных систем. — 2020. — № 4. — С. 12−16. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-4-12-16

2. Бахтизин, Р. Н. Энциклопедия безопасности жизнедеятельности / Р. Н. Бахтизин, С. Г. Родионова, Ю. В. Лисин. — Москва : Недра, 2017. — 826 с.

3. Asessment of the human factor influence on the accident initiation in the oil and gas industry/ A. V. Fedosov, A. N. Khamitova, K. N. Abdrakhmanova, N. Kh. Abdrakhmanov // Территория «НЕФТЕГАЗ». — 2018. — № 1–2. — С. 62–70.

4. Повышение безопасности производства путем применения сетевых интеллектуальных систем / В. Н. Филиппов, А. Р. Агишева, И. Р. Киреев [и др.] // Информационные технологии. Проблемы и решения : материалы междунар. науч.-практ. конф. — Уфа, 2017. — № 1 (4). — С. 109–118.

5. Гарипов, Р. Ф. Анализ рисков на основе результатов оценки культуры безопасности / Р. Ф. Гарипов, Г. М. Шарафутдинова, В. Б. Барахнина // Безопасность труда в промышленности. — 2019. — № 9. — С. 82–88.

6. Гаскарова, Ф. Н. Проблема реальной эффективности средств индивидуальной защиты от шума / Ф. Н. Гаскарова, Г. М. Шарафутдинова // Актуальные проблемы науки и техники : сб. науч. тр. — Уфа, 2017. — С. 81–83.

7. Федосов, А. В. Игровые методы преподавания охраны труда в учебных заведениях / А. В. Федосов, Р. Р. Валеева // Инженерное образование в контексте будущих промышленных революций : сб. науч. тр. — Казань, 2020. — С. 302–311.

8. Совершенствование системы мониторинга средств индивидуальной защиты на предприятиях / А. Ф. Хасанова, М. А. Галлямов, Н. В. Вадулина [и др.] // Безопасность труда в промышленности. — 2019. — № 1. — С. 49–52.

9. Вадулина, Н. В. Профессиональная заболеваемость в России: проблемы и решения / Н. В. Вадулина, М. А. Галлямов, С. М. Девятова // Безопасность техногенных и природных систем : [сайт]. — 2020. — № 3. — С. 7−15. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-3-7-15

10. Фатыхова, Л. Х. Профессиональные заболевания на нефтеперерабатывающем заводе / Л. Х. Фатыхова Г. М. Шарафутдинова // Булатовские чтения. — 2019. — Т. 2. — С. 207–209.

Сдана в редакцию 15.06.2021
Запланирована в номер 29.07.2021

Об авторах:

Абдрахманов Наиль Хадитович, заведующий кафедрой «Промышленная безопасность и охрана труда» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450044, РФ, г. Уфа, ул. Матвея Пинского, 4), доктор технических наук, профессор, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3184-1975, anailx@mail.ru

Федосов Артем Васильевич, доцент кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450044, РФ, г. Уфа, ул. Матвея Пинского, 4), кандидат технических наук, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7853-1800, fedsv-artem@rambler.ru

Хамитова Алина Наилевна, магистрант кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450044, РФ, г. Уфа, ул. Матвея Пинского, 4), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8442-9418, khamitova.alya@mail.ru

Бадртдинова Ильзида Илсуровна, магистрант кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450044, РФ, г. Уфа, ул. Матвея Пинского, 4), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7901-7355, b.ilzida99@mail.ru

Матузов Глеб Леонидович, доцент кафедры мобилизационной подготовки в здравоохранении и медицины катастроф Башкирского государственного медицинского университета (450008, РФ, г. Уфа, ул. Ленина, 3), кандидат технических наук, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2619-4184, gleb-matuzov@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

Н. Х. Абдрахманов — определение структуры статьи, критический анализ, редактирование; А. В. Федосов — научное руководство, формулирование основной цели исследования, создание методики его проведения, обработка данных наблюдений, редактирование текста; А. Н. Хамитова — постановка задачи, разработка основной концепции исследования, формирование выводов; И. И. Бадртдинова — доработка текста, сбор и анализ литературных данных; Г. Л. Матузов — разработка концепции исследования, обработка данных наблюдений.

Submitted 15.06.2021
Scheduled in the issue 29.07.2021

About the authors:

Abdrakhmanov, Nail Kh., Head, Department of Industrial Safety and Labor Protection, Ufa State Petroleum Technical University (4, Matvey Pinsky str., Ufa, 450044, RF), Dr. Sci., Professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3184-1975, anailx@mail.ru

Fedosov, Artem V., Associate professor, Department of Industrial Safety and Labor Protection, Ufa State Petroleum Technical University (4, Matvey Pinsky str., Ufa, 450044, RF), PhD, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7853-1800, fedsv-artem@rambler.ru

Khamitova, Alina N., Master's degree student, Department of Industrial Safety and Labor Protection, Ufa State Petroleum Technical University (4, Matvey Pinsky str., Ufa, 450044, RF), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8442-9418, khamitova.alya@mail.ru

Badrtdinova, Ilzida I., Master's degree student, Department of Industrial Safety and Labor Protection, Ufa State Petroleum Technical University (4, Matvey Pinsky str., Ufa, 450044, RF), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7901-7355, b.ilzida99@mail.ru

Matuzov, Gleb L., Associate professor, Department of Mobilization Training in Health Care and Disaster Medicine, Bashkir State Medical University (3, Lenina str., Ufa, 450008, RF), Cand.Sci., ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2619-4184, gleb-matuzov@yandex.ru

Contribution of the authors:

N. H. Abdrakhmanov — structure of the article, critical analysis, editing; A. V. Fedosov — scientific supervision, formulation of the main objectives of the study, the method of its carrying out, processing of observational data, text editing; A. N. Khamitova — problem statement, formulation of basic concepts of the study, formulation of the conclusions; I. I. Badrtdinova — completion of the text, collection and analysis of the literature data; G. L. Matuzov — development of the concept of the study, data processing observations.